

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Petr Mutina

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Návrh a realizace systému automatické teplotní temperace
v prostorech průmyslové kompresorovny s využitím odpadního
tepla jednotlivých strojů**

**Design and Implementation of Automatic Temperature Control
System in Industrial Compress Hall based on Waste Heat of
Individual Machines**

2020

Petr Mutina

Zadání bakalářské práce

Student:

Petr Mutina

Studijní program:

B0714A150001 Řídicí a informační systémy

Téma:

Návrh a realizace systému automatické teplotní temperace v prostorech průmyslové kompresorovny s využitím odpadního tepla jednotlivých strojů

Design and Implementation of Automatic Temperature Control System in Industrial Compress Hall based on Waste Heat of Individual Machines

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Bakalářská práce ve své teoretické části popisuje možnosti regulace teploty a využití dostupného hardwaru v kompresorovně. V praktické části je poté popsána odborná montáž, zapojení automatizačních komponent, rozvaděče, dotykového panelu a PLC Siemens Simatic S7-1500, pro který je vyvinut řídicí algoritmus. Systém bude odzkoušen ve zkušebním provozu v ručním i automatickém režimu tak, aby mohl být bez výhrad, nedodělků a víceprací předán zákazníkovi.

Body zadání:

1. Specifikace dostupného hardwaru a možností regulace teploty v kompresorovně.
2. Vytvoření elektrického zapojení.
3. Návrh a realizace řídicí aplikace v PLC.
4. Otestování systému.
5. Zhodnocení, diskuze dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC S7-1500: configuring, programming and testing with step 7 Professional*. Erlangen: Publicis Publishing, c2014. ISBN 978-3-89578-404-0.
- [2] BOYER, Stuart A. *SCADA: supervisory control and data acquisition*. Research Triangle Park: Instrument Society of America, c1993. An independent learning module from the Instrument Society of America. ISBN 1-55617-210-9.
- [3] VLACH, Jaroslav. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-66-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Antonín Gavlas**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



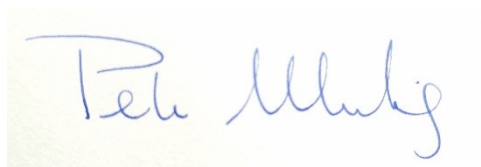
doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Bruntále dne 15.5.2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Petr Mlýnský', is shown on a light yellow background.

.....

podpis studenta

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Antonínu Gavlasovi za odborné vedení, trpělivost, empatii a podnětné návrhy k práci.

Abstrakt

Tato práce řeší a popisuje jeden z možných způsobů zajištění teplotně stabilního prostředí, nezbytného pro nepřetržitý provoz šroubových, vzduchem chlazených průmyslových kompresorů Atlas Copco řady GA dle doporučení výrobce. Specifikuje stávající možnosti a podmínky z hlediska stavebních propozic objektu, popisuje hardwarové řešení dle požadavku zákazníka a podnikových zvyklostí, obsahuje odladěný algoritmus pro řídicí systém Simatic S7-1200 včetně vizualizace na dotykovém panelu. Zahrnuje poznatky získané měřením a pozorováním soustavy jak v ručním, tak v automatickém režimu v rámci zkušebního provozu. Součástí práce je rovněž analýza chování systému v průběhu roku, zejména v extrémně teplých a chladných obdobích, kdy platforma zajišťuje dodržení limitních teplotních stavů, tj. ochranu proti zamrznutí, či přehřátí.

Klíčová slova

Atlas Copco, Teplotní temperace, Simatic S7-1200, Automatizace

Abstract

This work solves and describes one of the possible ways of providing a temperature stable environment necessary for the continuous operation of Atlas Copco GA series air-cooled screw compressors according to the manufacturer's recommendations. It specifies the existing possibilities and conditions in terms of building layout of the building, describes the hardware solution according to the customer's requirements and business practices, contains a tuned algorithm for the Simatic S7-1200 control system, including visualization on the touch panel. It includes knowledge gained by measuring and observing the system in both manual and automatic mode during the test operation. Part of the work is also analysis of system behavior during the year, especially in extremely hot and cold periods, when the platform ensures compliance with limit temperature conditions - protection against freezing or overheating.

Key words

Atlas Copco, Temperature Control, Simatic S7-1200, Automation

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk:	9
Seznam ilustrací a seznam tabulek	10
Úvod	12
1 Pneumatika	13
1.1 Pneumatika jako fyzikální obor	13
1.2 Stlačený vzduch jako pracovní médium v automatizaci	14
1.3 Výroba stlačeného vzduchu	16
1.4 Kompresory	17
1.4.1 Dělení podle principu komprese	17
1.4.2 Dělení podle způsobu pohybu kompresního mechanismu	17
2 Vizualizace	20
2.1 Možnosti vizualizace	20
2.1.1 Panely s tlačítky a indikátory	20
2.1.2 Operátorské panely	20
2.1.3 Počítačové ovládací pracoviště	21
2.1.4 Internetové vizualizační systémy	21
3 Řízení technologických procesů pomocí PLC	22
3.1 Přehled programovatelných automatů Siemens SIMATIC S7 a B&R	23
3.1.1 S7-200	23
3.1.2 S7-1200	24
3.1.3 S7-300	24
3.1.4 S7-400	25
3.1.6 B&R X20	25
3.1.7 B&R X90	26
4 Praktická realizace automatické teplotní temperace	27
4.1 Hardware	28
4.1.1 Měření teploty	28
4.1.2 Akční člen	29
4.1.3 Poloha regulačního serva	29
4.1.4 Havarijní ventilace	30
4.1.5 Řízení směru a otáček ventilátoru	31
4.1.6 Převodník	32

4.1.7 Řídící systém a vizualizace	33
4.1.8 Drobný a pomocný HW	33
4.1.9 HW konfigurace	34
4.2 Software	35
4.2.1 Základní popis programu	35
4.2.2 Hlavní struktura programu	35
4.2.3 Řízení s využitím cyklického přerušení	36
4.2.4 Funkční bloky (FB)	37
4.2.5 Funkce (FC)	38
4.2.6 Datové bloky (DB)	38
4.2.7 Konfigurace technologických objektů	39
4.2.8 Vizualizace (HMI)	40
5 Závěr	42
Literatura	43
Přílohy	44

Seznam použitých symbolů a zkratek:

CPU	Central Processing Unit
HMI	Human Machine Interface
KTP	Key and Touch Panel
LAD	Ladder Diagram
MMC karta	MultiMedia Card
PID regulátor	Proporcionálně Integračně Derivační regulátor
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
VZT	Vzduchotechnika

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Obr.1.1	Boyle-Marriottův zákon.....	13
Obr.1.2	Gay-Lussacův zákon.....	14
Obr.1.3	Elektropneumatický stroj na montáž cylindrických válcových vložek.....	15
Obr.1.4	Základní dělení kompresorů podle principu výroby stlačeného vzduchu.....	17
Obr.1.5	Princip funkce šroubového kompresoru.....	18
Obr.1.6	Šroubový kompresor firmy Atlas Copco.....	18
Obr.2.1	Panel s tlačítky a indikátory, panel typu HMI.....	20
Obr.2.2	Vizualizace typu SCADA, webová vizualizační platforma.....	21
Obr.3.1	PLC S7-200.....	23
Obr.3.2	PLC S7-1200.....	24
Obr.3.3	PLC S7-300 s I/O moduly.....	24
Obr.3.4	Sestava s PLC S7-1500.....	25
Obr.3.5	PLC firmy B&R X20.....	26
Obr.3.6	PLC firmy B&R X90.....	26
Obr.4.1	Schéma vzduchotechniky.....	27
Obr.4.2	Prostorový teplotní senzor Comet a jeho zapojení.....	28
Obr.4.3	Klapkový pohon Belimo a jeho zapojení.....	29
Obr.4.4	Zpětná vazba servopohonu a její zapojení.....	30
Obr.4.5	Havarijní ventilátor a jeho zapojení.....	31
Obr.4.6	Frekvenční měnič Sinamics G120C a jeho základní zapojení.....	32
Obr.4.7	Analogový převodník Mercos.....	33
Obr.4.8	Panel HMI, zapojení komunikace a napájení.....	33
Obr.4.9	Náhled HW konfigurace.....	34
Tab.4.10	Tabulka tagů analogových vstupů.....	35
Obr.4.11	Náhled OB1.....	36
Obr.4.12	PID v OB30.....	36
Obr.4.13	Část funkčního bloku FB1.....	37

Obr.4.14	FB2 – použití funkce měřítka.....	37
Obr.4.15	FB2 – ovládání regulačních servopohonů.....	38
Obr.4.16	Princip funkce FC2 – měřítko.....	38
Obr.4.17	Datový blok DB2.....	39
Obr.4.18	Nastavení PID složek regulátoru.....	39
Obr.4.19	Parametrizace motoru.....	40
Tab.4.20	Tagy vizualizovaných hodnot HMI.....	40
Obr.4.21	Náhled obrazovky vizualizace dat.....	41
Obr.4.22	Náhled obrazovky vizualizace grafů.....	41

Úvod

Užití stlačeného vzduchu jako pracovního média v automatizačních procesech je v lehkém průmyslu velmi rozšířeným způsobem řešení. Na počátku aplikační oblasti tak stojí soustava kompresorů, které zajišťují jeho výrobu, úpravu a přípravu k rozvodu. Jedná se o stroje, které při stlačování vzduchu vyvíjí teplo, které musí být odváděno. Zároveň na straně sání dochází k průtoku značného množství vzduchu přiváděného z venkovního prostředí, jehož teplotu je rovněž žádoucí udržovat v intervalu daném výrobcem, kdy např. teplota pod bodem mrazu by vedla k poškození kompresoru. Bakalářská práce řeší tuto problematiku v kompresorovně chemicko-farmaceutického závodu Macco Organiques, s.r.o. Bruntál. Za splnění podmínky energetické soběstačnosti projekt vytváří řešení teplotně stabilizovaného prostředí pro spolehlivý a nepřetržitý provoz šroubových kompresorů firmy Atlas Copco nezávisle na teplotě venkovního prostředí a to v plně automatickém režimu.

Teoreticky zaměřená první kapitola popisuje obecný princip pneumatiky jakožto fyzikálního oboru s přihlédnutím k aspektům jejího užití v automatizačním řetězci lehkého průmyslu. Zmiňuje zákony fyziky spojené s procesem komprese, rozebírá základní způsoby výroby stlačeného vzduchu pomocí kompresorů a vysvětluje jejich dělení podle funkčních principů těchto strojů.

V navazujícím oddíle jsou obsaženy možnosti řešení projektu z hlediska použití metod vizualizace. Jednotlivé způsoby jsou rozříděny podle vhodnosti jejich využití dle typu řešené problematiky a její rozsáhlosti. Zmiňován je i historický aspekt v průběhu vývoje automatizační techniky, počínaje prostými panely s tlačítky a kontrolkami a konče webovými vizualizačními platformami.

V další části práce je popsán princip fungování programovatelných logických automatů, způsob, jakým zpracovávají řídicí program, jejich postupný vývoj a rozlišení dle modulárnosti či konstrukční velikosti. Jsou zde zmíněni největší světoví výrobci PLC. Porovnává vhodnost nasazení jednotlivých řad průmyslových programovatelných automatů třídy S7 vyráběných firmou Siemens a dva programovatelné automaty firmy B&R, dnes již ABB.

Poté následuje popis použitých hardwarových komponent s vysvětlením principů jejich funkce v navrženém regulačním celku včetně schématu elektrického zapojení. Zabývá se návrhem a realizací řídicího algoritmu v PLC na platformě inženýrského prostředí TIA Portal v13 v jazyce LAD. Uvádí tabulku použitých vstupů a výstupů, komentuje vlastnosti funkčních a datových bloků, popisuje propojení a konfiguraci dotykového panelu HMI KTP 700.

V závěrečné páté kapitole jsou uvedeny analýzy dat a rozbor dosažených výsledků, získaných v průběhu zkoušek, uvádění do provozu, testování a zkušebního režimu, včetně simulací extrémních teplotních podmínek venkovního prostředí. Je hodnocen projekt a dosažené výsledky porovnávány s počátečními požadavky a zadáním zákazníka. Je zvažován další možný vývoj řešení problematiky a v neposlední řadě je poukazováno na přínosy práce v procesu vlastního vzdělávání.

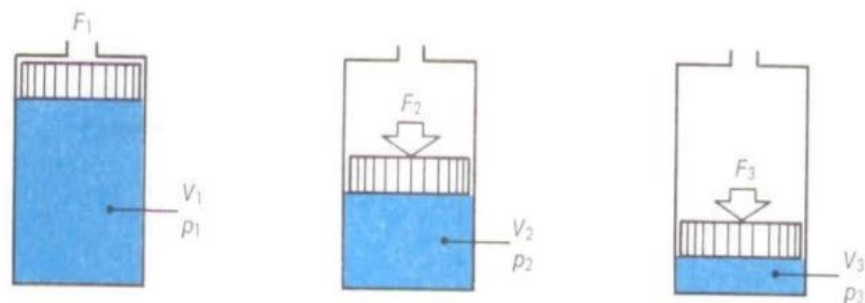
1 Pneumatika

Pneumatika je technický obor zabývající se přeměnou stlačeného vzduchu na mechanický pohyb. K velkému využití pneumatiky dochází hlavně v lehkém průmyslu, kde tvoří důležitou součást výrobních strojů [1]. Z historických pramenů je doloženo, že jako zdroj energie je stlačený vzduch lidstvem používán již po tisíce let. První takové prokázané zprávy hovoří o Řeku Ktesibiovi z Alexandrie, který již před více než 2100 lety položil prazáklady pneumatiky a zkonstruoval vystřelovací mechanismus, poháněný stlačeným vzduchem [2]. Do 1.století našeho letopočtu jsou datovány starořecké knihy, které obsahují popisy strojů s využitím ohřátého vzduchu jako pracovního média a nosiče energie. Odtud rovněž pochází výraz „pneuma“, ve významu vítr, nebo dech. Termín „pneumatika“ byl z tohoto slova odvozen jako název pro obor, který se zabývá pohybem a projevy tzv. vzdušniny, resp. ději, které v této vzdušnině probíhají. Přestože tyto základní vědomosti patří vůbec nejstarším znalostem moderního lidstva, systematický vědecký výzkum přineslo až 20.století, kdy byla komprese vzduchu užívána např. v železniční dopravě, hornictví či stavebnictví. Přibližně od začátku 50.let hovoříme o aplikaci pneumatiky v tehdejší průmyslu. K masivnímu a celosvětovému uplatnění pneumatiky došlo v 80.letech minulého století, mj. díky racionalizaci technologických procesů a jejich automatizaci. V současnosti je využití pneumatických prvků rozšířeno napříč průmyslovými odvětvími natolik, že provozy bez užití stačeného vzduchu jsou velmi těžko představitelné [2].

1.1 Pneumatika jako fyzikální obor

Technické využití v zemské atmosféře všudypřítomného vzduchu je založeno na poznatku, že tak jako všechny plyny, ani vzduch nemá stálý tvar, tzn. že kopíruje tvar svého okolí. Je možné jej stlačovat (komprese), na druhou stranu je rozpínavý (expanse). Při zachování jeho konstantní teploty tyto jevy popisuje Boyle - Mariottův zákon, který udává, že objem plynu v uzavřeném prostoru je nepřímo úměrný absolutnímu tlaku, resp. součin absolutního tlaku a objemu určitého množství plynu je konstantní : $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = konst.$ (1.1)

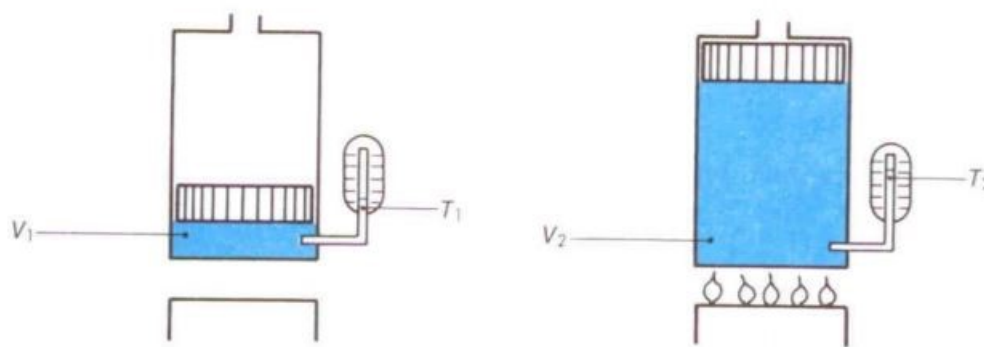
Tento princip je patrný z obr. 1.1.



Obr.1.1 Boyle-Mariottův zákon

Neméně důležitou závislost popisuje další, tzv. Gay - Lussacův zákon, který udává, že při konstantním tlaku změnou teploty vzduch mění svůj objem a poměr jeho objemů se tak rovná poměru jeho teplot. Princip tohoto zákona vyplývá z obr. 1.2.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1.2)$$



Obr.1.2 Gay-Lussacův zákon

Obě výše uvedené zákonitosti lze sloučit a vyjádřit tzv. stavovou rovnicí plynů, která tvoří matematický základ pneumatiky [2]:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = konst. \quad (1.3)$$

1.2 Stlačený vzduch jako pracovní médium v automatizaci

V současné průmyslové automatizaci má využití stlačeného vzduchu své pevné místo, ať už se jedná o ovládání pohonů, regulaci či řízení. Je neodmyslitelnou součástí a je používán u řady rozličných manipulátorů a pracovních mechanismů, jak je patrné z obr. 1.3. Z obecného hlediska je užití pneumatických pohonů velmi vhodné v provozech, kde postačí malé až střední síly při požadavku rychlého pohybu, nebo jeho vysoké frekvence. Základem strojů jsou lineárně se pohybující pneumatické válce, jejichž charakteristickou vlastností je malý moment setrvačnosti a díky tomu umožňují rychlé reakce a rychlosti mechanismů. Využití stlačeného vzduchu je z hlediska jednotlivých průmyslových odvětví mnohostranné a setkáme se s ním od textilních továren, strojírenských podniků, dřevozpracujícího, potravinářského průmyslu až po například výše uvedený chemický závod Macco Organiques s r.o. Bruntál.



Obr.1.3 Elektropneumatický stroj na montáž cylindrických válcových vložek [5]

Stlačený vzduch má tyto vlastnosti:

- **Dostupnost.** Povrch Země je obklopen atmosférou, která je vzduchem vyplněna a je tak k dispozici pro využití ve většině podniků. Mobilní kompresory jeho využití umožní i mimo výrobní či provozovny.
- **Skladovatelnost.** Není problém skladovat i velmi velké objemy stlačeného vzduchu.
- **Jednoduché konstrukce** pro jeho využití. Pneumatické prvky nejsou konstrukčně komplikované a umožňují snadné sestavení řídicích obvodů pro automatizaci zařízení a strojů.
- **Řiditelnost tlaku a průtoku.** Reakční rychlost pneumatického pohonu lze jednoduše regulovat polohou jehly škrticího ventilu, jeho sílu nastavením tlaku vzduchu na regulátoru.
- **Spolehlivost a nenáročnost na údržbu.** Je-li zajištěna čistota stlačeného vzduchu bez abrazivních mechanických částic, vlhkosti a oleje, jsou pneumatické řídicí systémy a motory velmi odolné jak atmosférickým vlivům, tak prostředí provozu. Poruchovost je zanedbatelná.
- **Ekologie.** Provoz pneumatických systémů nemá negativní vliv na životní prostředí. Při řádném ošetření vyfukovaného vzduchu splňuje i přísné normy pro čisté provozy.
- **Bezpečnost.** Dojde-li k přetížení pneumatických motorů, můžou setrvat neomezeně dlouhý čas ve stavu bez pohybu, aniž by došlo k jejich poruše či poškození. Provozem se nezahřívají, proto je možné jejich použití i v prostorech s nebezpečím výbuchu.
- **Zrychlení pohybů.** Rozpínavost stlačeného vzduchu a nízká hmotnost pohyblivých částí umožňuje vysoké zrychlení pohybů stroje [4].

1.3 Výroba stlačeného vzduchu

Jak již je výše uvedeno, zdroji stlačeného vzduchu pro pneumatickou automatizaci jsou různé druhy kompresorů v odolném průmyslovém provedení, které zaručuje jejich průběžný dlouhodobý provoz a splňuje řadu dalších vlastností pro dané použití. Nutno dodat, že se na trhu nachází rovněž široká škála zařízení v tzv. hobby třídě, které ovšem požadované vlastnosti nesplňují, pro nasazení ve výrobě se nehodí a proto se jimi tato práce nezabývá, i když pracují na totožných principech. Ze současných požadavků lze uvést alespoň tyto:

- kvalita vyrobeného stlačeného vzduchu pro danou aplikaci (vlhkost, čistota, stabilní tlak bez významných pulsací, výstupní teplota)
- vysoká účinnost (stlačený vzduch patří k nejdražším médiím a ceny energií stoupají)
- jednoduchost a ekonomická přijatelnost regulace při možných změnách zátěže
- nenáročná údržba
- vysoká provozní spolehlivost
- životnost
- ekologie a minimalizace dopadů provozu na životní prostředí
- nízká hlučnost
- snadná recyklovatelnost po ukončení životnosti a vyřazení z provozu

Jedním z důležitých principů je fakt, že v technické praxi má být zdroj stlačeného vzduchu na výstupu tlakově co nejlépe přizpůsoben vstupnímu tlaku spotřebiče. Jsou sice možná řešení úpravou tlaku redukčními ventily, či naopak jeho zvyšováním multiplikátory, ovšem tato řešení jsou v pro velké množství a průtoky stlačeného vzduchu v průmyslu nevhodná a technickou opodstatněnost nachází snad jen ve velmi malých provozech. Zmíněná snaha o optimalizaci vedla k ustálení vstupních tlaků stlačeného vzduchu v průmyslových instalacích pro spotřebiče na hodnotách 6 bar, 7bar, nebo 7.5-8 bar, což jsou zároveň výtlačné tlaky na výstupech zdrojů (kompresorů). Pro zařízení s požadavkem vstupního tlaku 8bar (0,8 MPa) se používají kompresory 10bar, kde rozdíl tlaků na straně spotřebiče a zdroje kryje tlakové ztráty v rozvodech (pozn.: většina typů průmyslových kompresorů rovněž umožňuje korekci jmenovitého výstupního tlaku až o -10% bez změny ostatních parametrů). Ačkoliv tyto rozsahy nejsou nikterak normalizovány, setkáme se s nimi v průmyslových rozvodech téměř po celém světě, stejně jako s takto vyráběnými kompresory velkých sériových producentů [7].

1.4 Kompresory

1.4.1 Dělení podle principu komprese.

Toto základní rozdělení znázorňuje obr.1.4.

- objemový princip, kdy se stlačení dosahuje nasátím vzduchu do prostoru do prostoru, který je poté uzavřen a zmenšován.
- rychlostní princip, při kterém je nasátý vzduch urychlován a jeho kinetická energie je poté pomocí difuzoru transformována na energii tlakovou. Tyto kompresory se někdy nazývají jako turbokompresory.

Druhy kompresorů		
Objemové	přímočaré	pístové
		membránové
	rotační	lamelové
		šroubové
		rotační
Turbokompresory	radiální	
	axiální	

Obr.1.4 Základní dělení kompresorů podle principu výroby stlačeného vzduchu

1.4.2 Dělení podle způsobu pohybu kompresního mechanismu

- Pístové kompresory s přímočarým pohybem pístu.

V současnosti nepoužívanější typ kompresorů, který je vhodný k výrobě vzduchu s nízkým, středním i vysokým tlakem, tj. 100 kPa – 5 MPa. Stlačování vzduchu u vysokých tlaků však vyžaduje vícestupňový proces, kdy se nasátý vzduch stlačí prvním stupněm, následně ochladí, a stlačuje se dalším stupněm. Zdvihový objem následujícího stupně je vždy menší, než stupně předcházejícího. Při kompresi vzniká teplo, jehož energie je odváděna vzduchovým, nebo vodním chlazením.

- Membránové kompresory.

Principiálně se řadí mezi pístové kompresory. Píst však od sání i výtlaku odděluje membrána a vzduch tak nepřichází do styku s kluzně pohyblivými mazanými díly a není proto znečištěn olejem. Membránové kompresory lze proto nasazovat pro použití v chemickém, potravinářském, či farmaceutickém průmyslu.

- Rotační objemové kompresory.

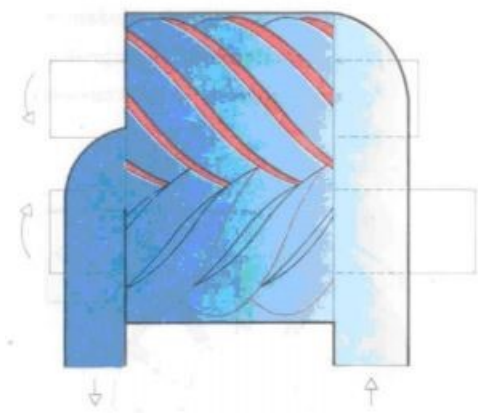
Pracují na principu rotačního pohybu jednoho, nebo dvou rotorů s písty, kdy probíhá zmenšování pracovních prostorů se vzduchem a dochází tak k jeho stlačování.

- Lamelové kompresory.

Pracovní prostor tvoří těleso tvaru válce s otvory pro výtlak a sání, v němž se otáčí excentricky uložený rotor s podélnými zářezy. V těchto zářezech jsou uloženy posuvné lamely, které tím, že se opírají a kloužou po vnitřním povrchu tělesa statoru vytváří řadu komor. Při otáčení rotoru se díky jeho excentricitě komory se vzduchem zmenšují a způsobují tak stlačování vzduchu. Lamely jsou při rotaci tlačeny ke stěně statoru odstředivou silou. Z tohoto principu plyne řada výhod, např. malé vnější rozměry stroje, tichý chod a tlakově stabilní dodávka vzduchu téměř bez rázů.

- Šroubové kompresory.

Jedná se o moderní typ dvourotorového kompresoru, kdy je okolní vzduch nasáván a následně vytlačován dvěma šroubovými vřeteny s konvexním a konkávním, do sebe zapadajícím profilem šroubových ploch, které vytlačovaný vzduch stlačují axiálním směrem (obr.1.5). Tento typ kompresorů firmy Atlas Copco řady GA je vyobrazen na obr.1.6 a je rovněž instalován v kompresorovně podniku Macco Organiques s.r.o. a řešení teplotní stability vnitřního okolního prostředí je předmětem této bakalářské práce.



Obr.1.5 Princip funkce šroubového kompresoru Obr.1.6 Šroubový kompresor firmy Atlas Copco

- Rootsovy kompresory.

Vzduch je transportován z jedné strany na druhou dvěma totožnými rotory s průřezem ve tvaru piškotu. Řadí se do skupiny kompresorů s tzv. externí kompresí, protože ke stlačování nasávaného vzduchu nedochází uvnitř samotného stroje, nýbrž až vytlačováním vzduchu do uzavřeného prostoru, tzn. výtlakem proti síle výstupní větve.

- Turbokompresory.

Jejich činnost je založena na rychlostním principu a jsou vhodné všude tam, kde se vyžaduje velké množství dodávaného vzduchu. Vyrábějí se v radiálním či axiálním provedení. Nasávanému vzduchu se pomocí jednoho, nebo více oběžných kol udělí vysoká rychlost a částečné stlačení. Tato energie se díky následnému difuzoru změní na tlakovou. Axiální kompresory dosahují zrychlení díky lopatkám při axiálním směru proudění, zatímco u radiálních strojů nasávaný vzduch proudí do oběžného kola přibližně axiálně a v něm pak změní směr průtoku na radiální. Díky odstředivé síle při vysoké obvodové rychlosti dochází k již zmiňovanému částečnému stlačení. Difuzor na výstupu z oběžného kola způsobí zpomalení vzduchu s výsledným zvýšením jeho tlaku. Toto se opakuje dle zvoleného počtu oběžných kol, neboli stupňů [2].

2 Vizualizace

Vizualizace, resp. zviditelnění, technologického procesu je vyšší forma jeho řízení, kdy člověk využívá možnosti nejen řízený děj sledovat, zasahovat do něj, případně reagovat na nastalé situace, nýbrž také průběh procesu poznávat z hlediska jeho vlastností a zákonitostí, tento děj popsat, důležité procesní informace archivovat, vytvářet předpisy pro dosažení žádaného výsledku a postupně tak tvořit vyšší formu řízení za účelem eliminace rutinní práce a zvýšení kvality [8].

2.1 Možnosti vizualizace

V současné době lze vizualizační strategie pro realizaci uživatelského rozhraní rozdělit do několika základních skupin.

2.1.1 Panely s tlačítky a indikátory

Ovládací prvky, přepínače, signálky a panely přístrojů jsou umístěny na krytech stroje, ve dveřích rozvaděče, nebo na ovládacím pultu. Přestože se jedná o jednoduché a často již překonané řešení, které je patrné z obr.2.1., stále lze nalézt oblasti jeho výhodného použití. Zejména u méně rozsáhlých aplikací, kde se uplatní jeho nízká ekonomická náročnost, nebo pro bezpečnostní, či havarijní ovládání a signalizaci. Použití v projektech většího rozsahu by však bylo složité a nepřehledné.

2.1.2 Operátorské panely

Jedná se o zařízení na bázi mikroprocesoru, obsahující displej a tlačítka, které se umísťuje v blízkosti řízeného systému, viz obr.2.1. Displej slouží operátorovi k zobrazování stavu výrobního řetězce, procesních hodnot, tlačítka mu umožňuje do něj zasahovat a např. zadávat řídicí parametry. Tato zařízení se vyznačují svou spolehlivostí a odolností, stejně jako průmyslové programovatelné automaty PLC. Obvykle jsou označovány z anglického *Human Machine Interface* jako HMI.



Obr.2.1 Vlevo panel s tlačítky a indikátory, vpravo panel typu HMI

2.1.3 Počítačové ovládací pracoviště

Počítačové vizualizační platformy se obvykle označují z anglického *Supervisory Control and Data Acquisition* jako SCADA. Jedná se zpravidla o pracoviště vybavené počítačem typu PC, na kterém je realizováno uživatelské rozhraní formou softwarové aplikace, viz obr.2.2. Ze zmíněné technologie PC vyplývá řada výhod, ať už se jedná o možnosti paměťové, grafické, komunikační, nebo například výkonové. Nutno ovšem dodat, že toto řešení přináší také určitá omezení a nevýhody, zejména spolehlivosti. Proto je nelze nasazovat přímo v průmyslovém prostředí a je vhodné je umístit do prostorově oddělených velinů. Na úrovni HMI/SCADA však výhody počítačů převyšují jejich nevýhody, protože přináší možnosti u jiných systémů velmi komplikovaně realizovatelné. Umožňují práci s audiovizuálními daty, fotografiemi, podklady typu plán či mapa, slovním hlášením, výstražnými signály, ale i on-line přenosy kamerových systémů umístěných v technologii. Z tohoto důvodu je tato úroveň hlavní oblastí použití počítačů typu PC v automatizačních procesech.

2.1.4 Internetové vizualizační systémy

Některé řídicí systémy, například programovatelné automaty PLC, umožňují zobrazovat informace a data prostřednictvím internetové stránky, která je umístěna přímo na svém vestavěném web serveru. Toto řešení je vyobrazeno na obr.2.2 a umožňuje realizovat jednoduché uživatelské rozhraní přímo z vizualizačního jádra řídicího systému [9].



Obr.2.2 Vlevo vizualizace SCADA, vpravo webová vizualizační platforma

3 Řízení technologických procesů pomocí PLC

Programovatelné průmyslové automaty, dále jen PLC, jsou nástupci reléového systému řízení technologických procesů, jehož vlastnosti přestaly stačit a vyhovovat rostoucím se nárokům automatizace v reálném čase. Procházely vývojem, kdy první prototypy nebyly schopny obsloužit řízení binární logikou a sloužily právě jen jako náhrada reléových automatů. Rozvoj polovodičových komponent však postupným způsobem rozšířil spektrum použitelnosti této platformy pro práci s analogovými signály, matematickými funkcemi až po realizaci složitějších řídicích systémů obsahujících zpracování digitálních signálů, analogových hodnot, vzájemnou komunikaci s jinými systémy, archivaci dat, přenos informací, výstupy pro tisk, vnitřní diagnostiku atd.

Přestože PLC je ve své podstatě počítač, od všeobecně známých počítačů se liší zejména tím, že svůj algoritmus zpracovává cyklicky. Druhým zásadním rozdílem je skutečnost, že jeho periferní zařízení je přímo uzpůsobeno pro připojení k technologickým procesům. Tyto periférie z převážné části tvoří digitální výstupy (DO – digital output) a digitální vstupy (DI – digital input). Pro zpracovávání spojitých signálů jsou určeny analogové výstupy (AO – analog output) a analogové vstupy (AI – analog input). S rozvojem průmyslové automatizace dochází k používání i dalších modulů periferních zařízení, tzv. funkčních modulů, která jsou připojitelná k PLC a slouží např. k polohování, nebo obsluze bezpečnostních (SAFETY) okruhů.

Dle konstrukce je možné PLC rozdělit na dvě skupiny:

- **Kompaktní programovatelné automaty (KPA)**, kdy modul PLC obsahuje CPU (Central Processing Unit), binární a analogové výstupy / vstupy, nativní komunikační podporu a v některých případech i napájecí zdroj. Rozšiřitelnost těchto kompaktních systémů je problematická a omezená.
- **Modulární programovatelné automaty (MPA)**, kdy je soustava PLC rozdělena na jednotlivé komponenty a celek automatu se skládá z modulů – napájecího zdroje, CPU, vstupních/výstupních karet a funkčních periférií. Tuto modulární platformu je možno dále rozšiřovat. Limity této výstavby nejsou neomezené, oproti kompaktním systémům je však rozsah nepoměrně větší [9].

Dle velikosti je možné programovatelné automaty rozdělit na :

- **Mikro PLC.** Jedná se o nejlevnější a rozměrově nejmenší systémy kompaktních PLC s pevnou sestavou obvykle jen digitálních vstupů a výstupů. Typickým použitím těchto programovatelných automatů je náhrada reléové logiky řízení jednoduchých strojů a mechanismů.
- **Malé PLC.** Tyto programovatelné automaty jsou schopny pracovat s desítkami výstupů a vstupů, hodí se pro implementaci do řešení úloh menšího rozsahu a jejich výbava obsahuje kompletní sadu funkcí pro aritmetické a logické operace. Dle konstrukčního zařazení se může jednat jak o modulární, tak i kompaktní programovatelné automaty.

- **Střední PLC.** Tyto programovatelné automaty jsou vhodné pro nasazení do provozů středního rozsahu, jsou schopny obsluhovat stovky vstupně-výstupních signálů. Ve většině případů se jedná o konstrukce modulárního typu.
- **Velké PLC.** Výhradně modulární programovatelné automaty, které díky schopnosti zpracovávat tisíce vstupů a výstupů nachází využití v nejnáročnějších aplikacích [9].

Ve světovém měřítku je výrobců programovatelných automatů takové množství, že by bylo asi velmi obtížné je všechny vyjmenovat. Platí však, že chce-li firma na poli automatizace něco znamenat a také se zde prosadit, musí do svého výrobního programu zařadit i PLC. Z těch největších a nejznámějších lze namátkou uvést Siemens, Mitsubishi, Schneider, Allen-Bradley, B&R (dnes již ABB), Hitachi, Rockwell, Orbit Merret, Omron a další. Automat každého z výrobců používá formálně odlišné programové příkazy, způsob tvorby kódu, odlišuje se rovněž vývojové softwarové prostředí. Základní princip funkce PLC je však vždy totožný. Na počátku každého cyklu CPU načte stavy a hodnoty na vstupních perifériích a dle instrukcí řídicího algoritmu tento cyklus provede. Tato práce využívá jako řídicí jádro řešení zadané problematiky řídicí systém společnosti Siemens. Programovatelné průmyslové automaty společnosti Siemens nabízí široké spektrum řídicích systémů, použitelných pro veškeré automatizační úlohy. Portfolio řídicích systémů řady SIMATIC S7 zahrnuje jak základní, tak pokročilé, distribuované či softwarové řídicí jednotky, které poskytují nespočetné možnosti integrace nejrůznějších funkcí a dalšího rozšíření. Díky projektování ve vývojovém prostředí TIA Portal (Totally Automation Portal), lze optimalizovat řešení pro každou aplikaci. [10] PLC řady S-7 jsou nasazovány do průmyslového měření, regulace a automatizace velmi často (společnost uvádí, že ovládá 30% celosvětového trhu) [10].

3.1 Přehled programovatelných automatů Siemens SIMATIC S7 a B&R

V této kapitole je vytipováno několik PLC, vyráběných firmami Siemens a B&R z důvodu, že jejich nasazení v průmyslových aplikacích je velmi časté. Je zde uvedena jejich stručná charakteristika spolu s ilustrační fotografií některých z programovatelných automatů.

3.1.1 S7-200

Tato řada kompaktních malých automatů je rovněž určena pro řízení v méně rozsáhlých automatizačních aplikacích. Z obr.3.2 je zřejmá flexibilní konfigurace a kompaktní design s výkonnou instrukční sadou předurčuje tuto řadu jako vhodné řešení pro širokou škálu automatizačních úloh. Vstupy a výstupy jsou rozšiřitelné, je možné rovněž užití speciálních modulů, jako je polohovací karta pro krokové motory, měření teplot termočlánky i odporovými senzory, vážící systém SIWAREX MS, modul AS-interface, modem modul, či komunikačních sběrnic PROFIBUS a Ethernet. Je nutné dodat, že řada S7-200 je v současnosti nahrazována automatem S7-1200.



Obr.3.1 PLC S7-200

3.1.2 S7-1200

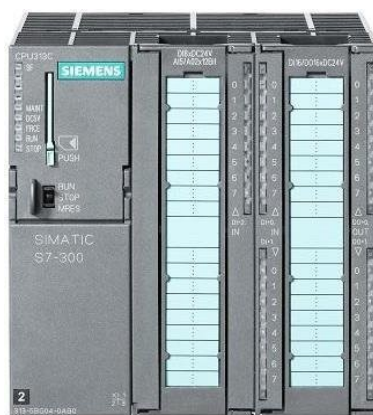
PLC této řady je nástupcem platformy S7-200 a stejně jako ona nabízí ve spojení flexibility a výkonu předpoklad k instalaci pro řešení velmi široké škály automatizačních aplikací (obr.3.3). CPU kombinuje integrovaný napájecí zdroj, mikroprocesor, vstupní a výstupní obvody, vysokorychlostní vstupy a výstupy, integrované komunikační rozhraní PROFINET a dokovací analogový modul. Počet vstupů a výstupů je rozšiřitelný až na 284 binárních, resp. 51 analogových. V softwarové výbavě nechybí hodiny reálného času, nebo PID regulátor s možností samočinného nastavení. V tomto projektu je použitý právě automat této řady.



Obr.3.2 PLC S7-1200

3.1.3 S7-300

Jedná se o modulárně rozšiřitelný, volně programovatelný automat určený pro veškeré aplikace v automatizační technice (foto viz obr.3.4). Primárně je určen do průmyslových provozů strojní výroby. Je vybaven technologickými funkcemi, např. zpětnovazebním řízením, vysokorychlostními čítači a výbavou motion control. Pomocí MMC karty umožňuje jednodušší údržbu – program je možné zálohovat přímo v paměti.



Obr.3.3 PLC S7-300 s I/O moduly

3.1.4 S7-400

Průmyslový řídicí systém, který je určen zejména pro náročné automatizační úlohy velkého rozsahu. Je vhodný pro řízení rozsáhlých výrobních celků, které navazují na celopodnikové řízení zdrojů a systémy pro sběr dat, jejich zpracování a archivaci, které je typické např. v oblastech chemické výroby, potravinářského průmyslu, energetice či farmacii. Umožňuje práci v tzv. multicomputing režimu, kdy se provozuje více CPU v centralizované konfiguraci řídicího systému. Toto přináší množství výhod, například možnost rozdělení výpočetního výkonu podle technických funkcí jako jsou řízení, početní operace či komunikace. Tato platforma rovněž umožňuje změnu hardwarové konfigurace za chodu systému. Bez nutnosti omezovat technologii je tam snadno proveditelná optimalizace systému [9].

3.1.5. S7-1500

Generace řídicích jednotek s tímto označením (obr.3.5) je určena především k automatizaci strojů a strojních zařízení. K jejím vlastnostem patří vysoký výkon a celá řada v řízení používaných funkčních skupin, jako např. Security pro ochranu a zabezpečení investic, nebo Safety pro jednoduchou realizaci bezpečnostních okruhů. Funkce Motion Control umožňuje snadné připojení pohonů Sinamics buď přímo, nebo pohonů s profilem PROFIdrive po kompatibilní sběrnici a řízení jejich polohy a pohybu [11].



Obr.3.4 Sestava s PLC S7-1500

3.1.6 B&R X20

Firma B&R vyrábí mimo jiné PLC řady X20, jež je vyobrazeno na obr. 3.6 a jejíž procesorová řada pokrývá implementaci od stardadních aplikací, až po ta nejnáročnější řešení s požadavky na vysoký výkon. Mezi základní vybavení již patří komunikační resp. síťová rozhraní typu RS232, Ethernet a USB. Pro komunikaci v reálném čase slouží připojení procesoru sběrnici Powerlink. Potřebu dalších systémových komponent eliminuje integrovaný napájecí zdroj s terminály pro napájení jak CPU, tak vstupně / výstupních periférií, kterých je možné připojit až 250. Pro nasazení v průmyslu je velmi výhodná ochrana pomocí krytí IP 67 [17].



Obr.3.5 – PLC firmy B&R X20

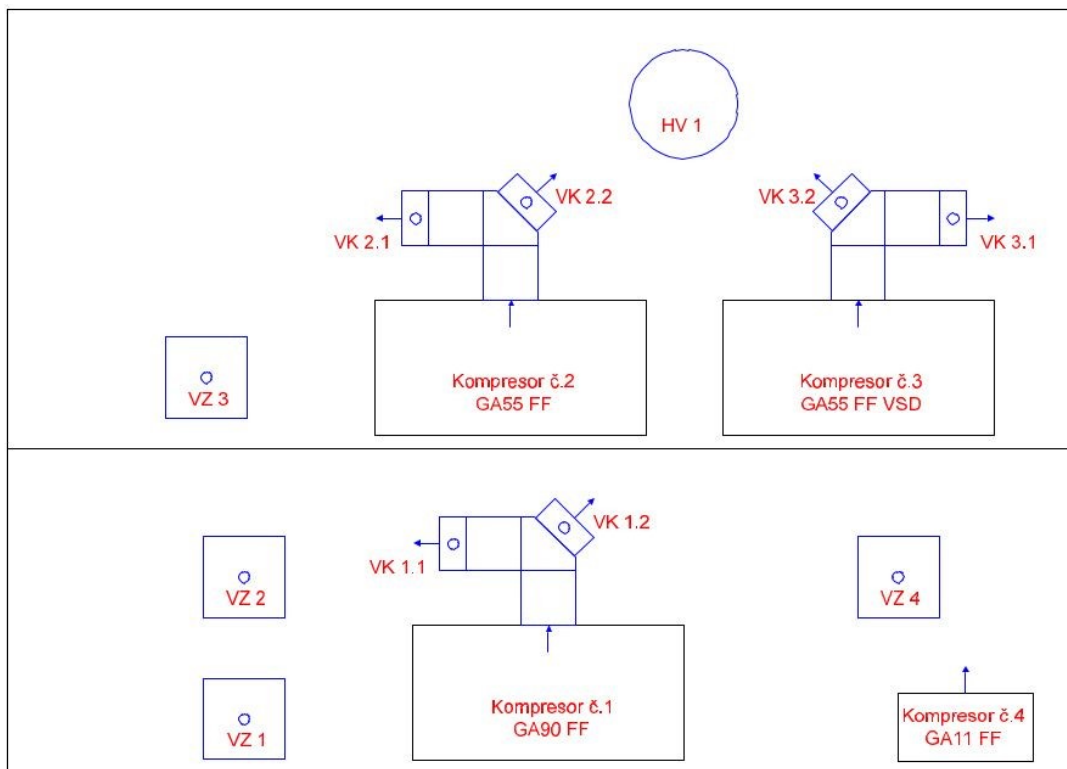
3.1.7 B&R X90

Specifickým a inovativním řešením firmy B&R je mobilní řídicí systém řady X90, určený pro flexibilní koncepty automatizačních řešení. Srdcem systému jsou procesory ARM spolu s multifunkčními I/O kanály za použití rozhraní pro CAN, Powerlink a Ethernet. Pouzdro je vyrobeno z litého hliníku a skýtá prostor pro čtyři volitelné desky pro rozšiřující vstupně / výstupní periferie, komunikační rozhraní, nebo bezpečnostní safety moduly. Produkty řady X90 garantují spolehlivý provoz při teplotách od -40°C do +85°C, jsou odolné vůči soli, vibracím, oleji, nárazům a UV záření [17].

4 Praktická realizace automatické teplotní temperace

Smyslem tohoto projektu je stabilizace teploty vzduchu v prostoru sání kompresorů na hodnotách v rozsahu 20°C – 30°C. V automatickém režimu bez přítomnosti a zásahu obsluhy, bez ohledu na roční období a panující teplotní podmínky, bez potřeby externího vytápění či klimatizace.

Strojovna je osazena čtyřmi šroubovými kompresory firmy Atlas Copco o výkonech v rozmezí 11kW – 90kW. Řešení zadání vychází z faktu, že agregát každého kompresoru je chlazen interním ventilátorem, který odvádí kompresí vzniklé teplo mimo skříň stroje. Na tyto průduchy mechanici dle mého zadání instalovali vzduchotechnické potrubí, které ukončili na plášti budovy. Do každého z potrubí je instalován systém dvou žaluzií VKx.x, ovládaných regulačními servopohony Belimo, který umožňuje řídit jak směr proudícího vzduchu, tak míru směšování odpadního tepla s prostředím kompresorovny, viz obr. 4.1. V limitních stavech je veškeré teplo odváděno mimo budovu (horké letní dny), resp. veškerý ohřátý vzduch bude vháněn do strojovny (mrazivé zimní období). Ze schématu je patrné, že obvodový plášť je navíc osazen čtyřmi samostatnými regulovatelnými žaluziemi VZx, které slouží k regulaci množství nasávaného venkovního vzduchu. Posledním důležitým prvkem VZT soustavy je havarijní ventilátor HV1. Ten je možno provozovat v režimech přívodu vzduchu, nebo jeho odtahu a rovněž systémem automatického řízení frekvenčním měničem, či ručního ovládání s regulací otáček potenciometrem. Je určen k řešení nouzových situací, jako je např. selhání systému, nekontrolovatelný teplotní vývoj s potřebou nuceného odvětrání apod.

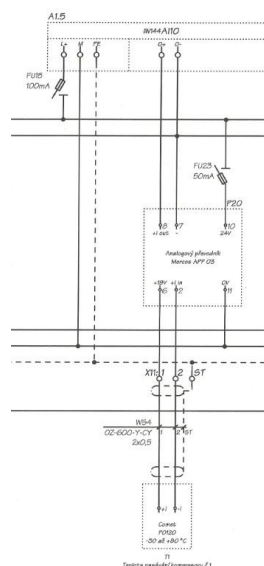


Obr.4.1 Schéma vzduchotechniky

4.1 Hardware

4.1.1 Měření teploty

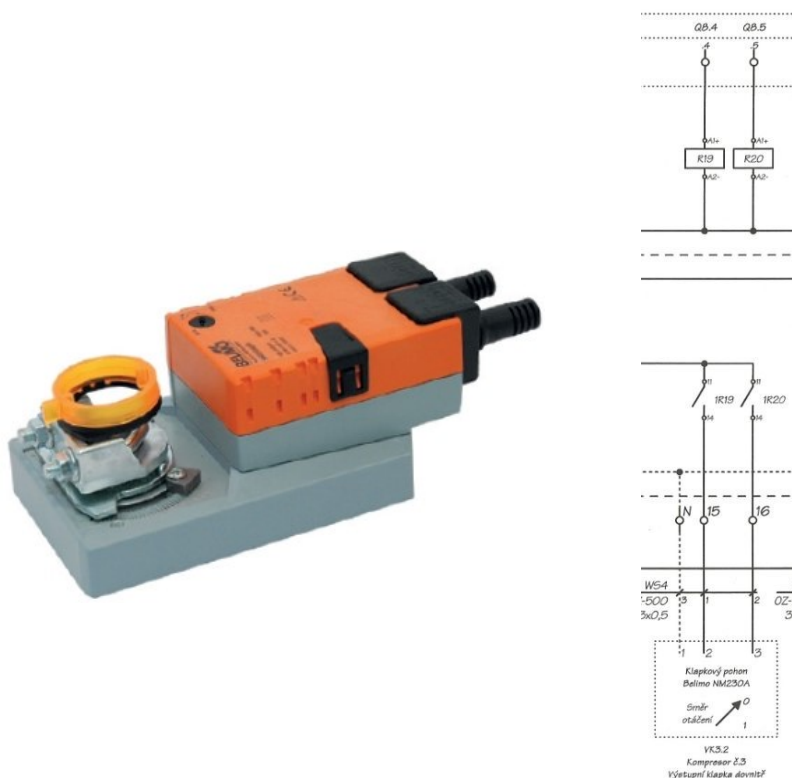
Regulovanou veličinou, v matematickém aparátu značenou obvykle jako $y(t)$ a je výstupem regulačního zpětnovazebního obvodu, je teplota vzduchu v prostoru sání kompresoru. Z důvodu velmi malé vzdálenosti od rozvaděče bylo použito dvou vodičové zapojení (obr.4.2) prostorového průmyslového snímače teploty Pt100 Comet PO120 přes přívodní svorky na analogový převodník Mercos APP 03. Proudový výstup 4-20 mA z tohoto rozhraní je připojen na příslušný vstup analogové karty řídicího systému, kde je velikost její hodnoty vyhodnocována a na základě odchylky od požadované hodnoty prováděn adekvátní akční zásah. V provozu je senzor osazen přímo v prostoru sání každého z kompresorů a měří tak aktuální teplotu vzduchu proudícího do stroje [[12]].



Obr.4.2 Prostorový teplotní senzor a jeho zapojení

4.1.2 Akční člen

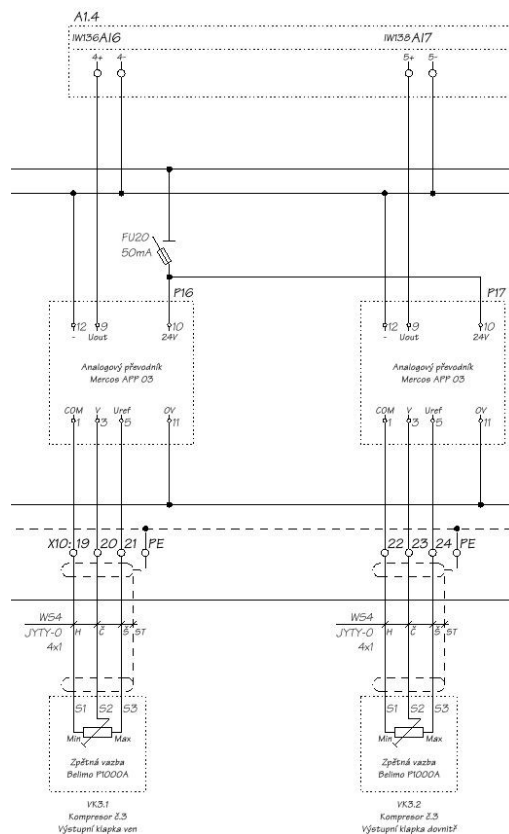
Vstupem do regulované soustavy je akční veličina, označovaná jako $u(t)$. Na základě její velikosti jsou vykonávány akční zásahy prostřednictvím aktuátoru, klapkového pohonu Belimo NM230A (viz obr.4.3). Má dvě silové svorky pro oboustranný chod, které jsou připojeny na kontaktech ovládacích relé, jejichž cívky jsou řízeny signály z příslušných výstupů binárních karet řídicího systému. Fyzicky je pohon instalován na vzduchotechnickém potrubí a ovládací hřídeli dané žaluzie a dle směru svého otáčení ji buďto otvírá, nebo zavírá. Je vybaven mechanickou spojkou, která umožňuje odpojení převodovky a manipulaci s žaluzií v ručním režimu. Tato možnost je výhodná zejména při prvotní instalaci a zkouškách plynulosti chodu a také pro případy poruchy servopohonu [[13]].



Obr.4.3 – Klapkový pohon Belimo a jeho zapojení

4.1.3 Poloha regulačního serva

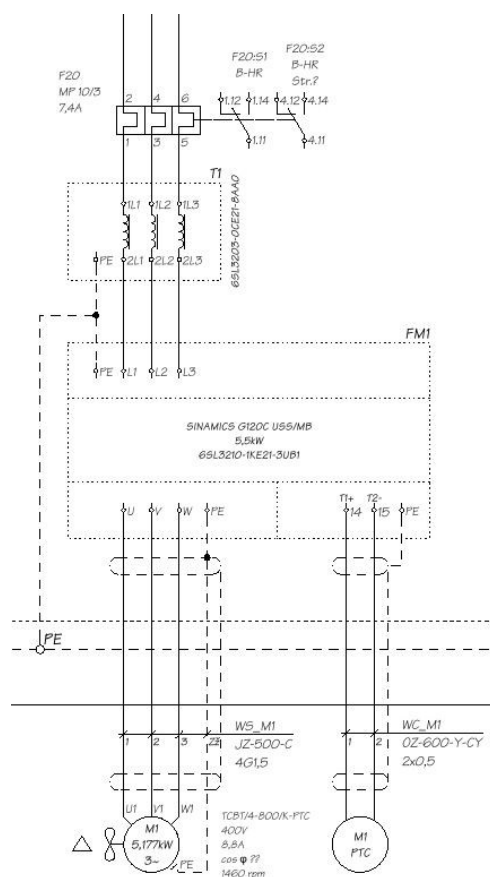
Jedná se o důležitou informaci jak pro vizualizaci aktuálního stavu systému, tak pro řešení limitních případů, kdy je pohon v jedné z krajních pozic a již neumožňuje pokračovat v akčních zásazích v příslušném směru. Z tohoto důvodu jsou klapkové pohony osazeny zpětnovazebním potenciometrem Belimo P1000A (obr.4.4). Změnou úhlu natočení serva, resp. hřídele žaluzie dochází ke změně elektrického odporu v rozmezí 0-1000Ω na výstupu tohoto zpětnovazebního senzoru, který je opět přes vstupní svorky rozvaděče připojen k analogovému převodníku Mercos APP 03 a dále na příslušný vstup analogové karty [[13]].



Obr.4.4 Zpětná vazba servopohonu a její elektrické zapojení

4.1.4 Havarijní ventilace

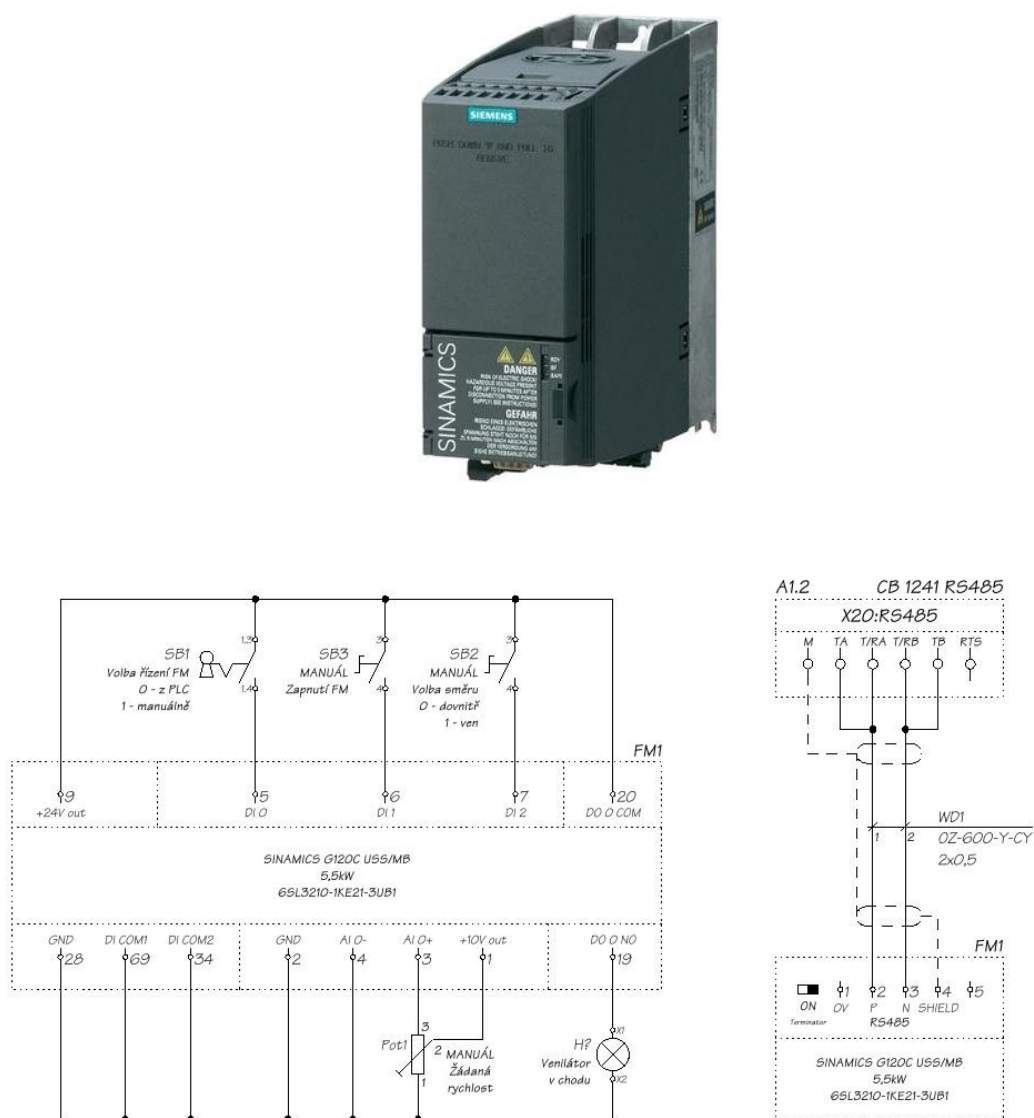
Pro potřebu řešení nouzových situací je do pláště strojovny osazen průmyslový potrubní axiální ventilátor TCBT/4-800 K PTC (obr.4.5). Jedná se o ventilátor poháněný třífázovým asynchronním motorem s jmenovitým výkonem 5177 W, umožňující při 1460 ot/min odvětrat či přivést 34950 m³ vzduchu za hodinu. Jeho režim a chod je řízen frekvenčním měničem, resp. řídicím systémem, které vzájemně komunikují sběrnici RS485. V silové napájecí části je zapojena nadproudová ochrana kompenzovaná dle štitkové hodnoty proudu motoru a zejména z důvodu omezení proudových špiček je obvod rovněž vybaven tlumivkou dle pokynů a parametrů výrobce [[14]].



Obr.4.5 – Havarijního ventilátor a jeho zapojení

4.1.5 Řízení směru a otáček ventilátoru

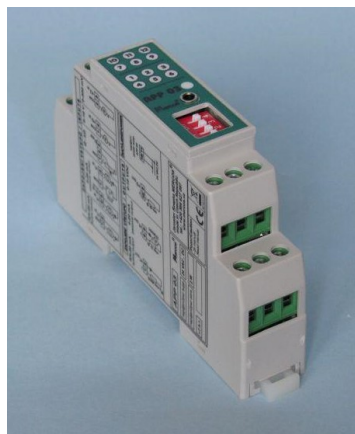
Potřebu plynulé regulace asynchronních motorů elegantně řeší zařízení, nazývané frekvenční měnič. Z důvodu bezproblémové kompatibility a možnosti programování v jednom vývojovém prostředí je v projektu použit a v rozvaděči instalován přístroj firmy Siemens, řady Sinamics G120C (obr.4.6) s výkonem 5,5kW. Pro bezpečnou a spolehlivou funkci frekvenčního měniče je nezbytné jeho správné nastavení, resp. spárování s řízeným motorem. Dále je potřebné nastavení příslušných vstupů a výstupů, ať už binárních či analogových, které umožní řízení ventilátoru dle požadovaných potřeb. Tuto konfiguraci je možné provádět mnoha různými způsoby. U jednodušších aplikací lze použít inteligentní IOP panel, v případě složitějších situací je však výhodnější pracovat v prostředích TIA či mnou preferovaným prostředím Siemens Starter [[15]].



Obr.4.6 - Frekvenční měnič Sinamics G120C a jeho základní zapojení

4.1.6 Převodník

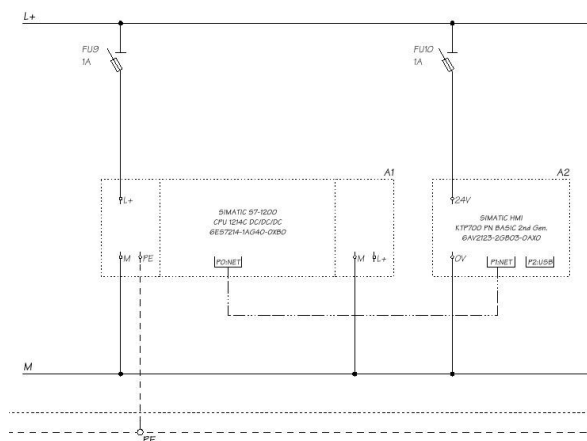
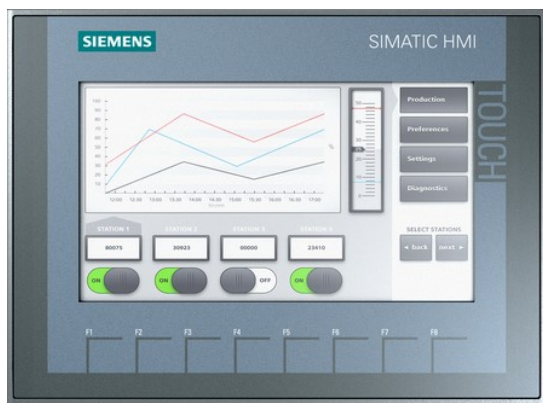
Velmi důležitou součástí systému jsou rozhraní pro sběr dat pro řídicí automat. Slouží ke změně typu signálu a zároveň jako galvanický oddělovač. V případě tohoto projektu provádějí převod z odporových senzorů teploty a polohy na signál měřící proudové smyčky 4-20mA, která je připojena na vstupní svorky analogových karet řídicího systému. V tomto režimu vyžadují separátní napájení 24 V DC, které zajišťuje napájecí zdroj Siemens PSU100S 24VDC/5A. Z důvodu dobrých zkušeností a prakticky bezporuchovosti byly použity osvědčené české procesorové převodníky Mercos APP03 (obr.4.7). Zapojení převodníku je patrné v části popisující např. funkci zpětnovazebního modulu. Pro správnou činnost převodníku je nutné jeho správné hardwarové nastavení dle pokynů výrobce. Pomocí DIP přepínačů se volí požadovaný pracovní režim. V tomto případě jsou všechna rozhraní nastavena na konfiguraci z PC, tzn. DIP přepínače v polohách OFF. Všechna další nastavení, jako je nastavení mezních hodnot, nebo signalizace přerušení proudové smyčky se pak provádí konfiguračním programem Mercos [[16]].



Obr.4.7 - Analogový převodník Mercos

4.1.7 Řídicí systém a vizualizace

Srdcem celé soustavy je již výše popsáný programovatelný logický automat firmy Siemens S7-1200. Pro svou korektní činnost potřebuje řídicí algoritmus, jehož vývoj a popis je obsažen v kapitole 4.2 Software. Základní modul CPU je rozšířen o přídavný modul 16ti binárních výstupů SM1222 a dvě karty analogových vstupů SM1231. Opět z důvodu kompatibility byl zvolen a na dveře rozvaděče osazen 7“ TFT displej firmy Siemens HMI KTP700 BASIC (obr.4.8). S řídicím systémem je propojen ethernetovým rozhraním a slouží k zobrazení aktuálních hodnot, resp. stavu celého systému. Umožňuje rovněž grafické znázornění teplotních poměrů v čase.

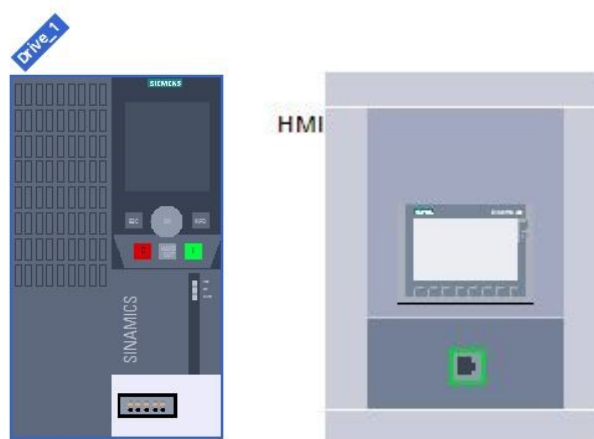


Obr.4.8 – Panel HMI, zapojení komunikace a napájení

4.1.8 Drobný a pomocný HW

Součástí celého projektu je množství podpůrných prostředků nezbytných pro celkovou funkčnost celku, jako jsou relé pro spínání silových obvodů, jističí prvky včetně bezpečnostního okruhu Central Stop či napájecího zdroje. Vše je patrné z kompletního schématu elektrického zapojení, které je součástí přílohy.

Prvním krokem při realizaci softwarové části projektu je jeho souborové založení, sestavení komponent v hardwarové konfiguraci a její nahrání do paměti CPU. Tímto se zadefinuje celý systém včetně komunikace jednotlivých segmentů, to znamená PLC, výstupní digitální karty, dvou analogových vstupních karet, frekvenčního měniče pro řízení havarijního ventilátoru a vizualizačního panelu HMI. Náhled hardwarové konfigurace je patrný z obr. 4.9, její kompletní podoba včetně nastavení IP adres a rozsahů analogových modulů je součástí softwaru v příloze.



• • •
34

4.2 Software

Následující kapitola popisuje v projektu použité programové prostředky, jejichž prostřednictvím PLC S7-1200 vykonává proces automatického řízení. Její součástí je rovněž rozbor potřebných konfigurací, které jsou nezbytné k funkčnímu běhu algoritmu a analýza jednotlivých bloků kódu včetně jejich parametrizace. Vývoj a odladění automatizačního projektu bylo provedeno v inženýrském prostředí TIA Portal v13, které integruje všechny klíčové součásti projektu – samotný program, systém HMI pro vizualizaci a rovněž podporu pro ovládání a řízení motorů. Algoritmus je sestaven v grafickém jazyku Ladder diagram, jehož sekvenční logika plně vyhovuje požadovanému řízení technologického procesu.

4.2.1 Základní popis programu

Z důvodu přehlednosti a srozumitelnosti pro případy budoucího servisu jsou veškeré použité vstupy i výstupy opatřeny tzv. tagy, tj. popisky, jejichž označení koresponduje se skutečným stavem dle projektové dokumentace. Z náhledu na tabulku 4.10 je patrné, že jednotlivé tagy jsou uspořádány do tabulky a obsahují název příslušného vstupu / výstupu, jeho datový typ, adresu a komentář. V projektu je použito celkem 13 analogových vstupů. 4 z nich slouží pro měření teplot a 9 jich je určeno pro polohy směšovacích klapek, resp. sacích žaluzií. Dále program pracuje s 18-ti binárními výstupy pro ovládání servopohonů a 7 digitálními vstupy, které nesouvisí se stávajícím stavem projektu, ale již jsou připraveny pro vícepráce dle přání zákazníka, kdy v průběhu zimní odstávky bude přidána signalizace chodu jednotlivých strojů a vizualizace kontroly sledu fází včetně stavu přepětových ochran.

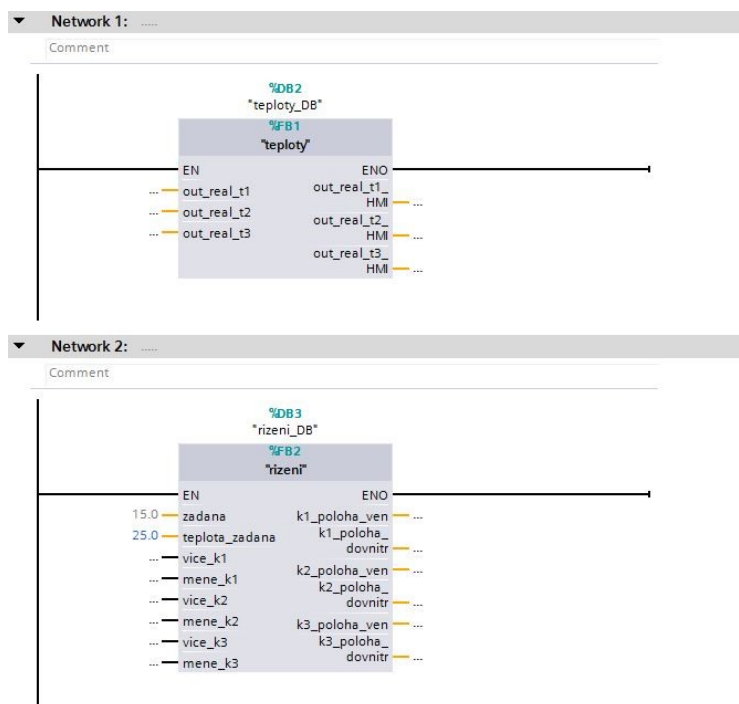
Tab.4.10 – Tagy analogových vstupů

Název tagu	Datový typ	Adresa	Komentář
P10	Word	IW64	VK1.1 DOVNITR POLOHA
P11	Word	IW66	VK1.2 VEN POLOHA
P12	Word	IW128	VZ1 POLOHA
P13	Word	IW130	VK2.1 DOVNITR POLOHA
P14	Word	IW132	VK2.2 VEN POLOHA
P15	Word	IW134	REZERVA
P16	Word	IW136	VK3.1 DOVNITR POLOHA
P17	Word	IW138	VK3.2 VEN POLOHA
P18	Word	IW140	VZ3 POLOHA
P19	Word	IW142	VZ4 POLOHA
P20	Word	IW144	TEPLOTA K1
P21	Word	IW146	TEPLOTA K2
P22	Word	IW148	TEPLOTA K3
P23	Word	IW150	VENKOVNI TEPLOTA

4.2.2 Hlavní struktura programu

Hlavní strukturu programu tvoří hlavní blok - OB1, který provádí po načtení všech stavů vstupních signálů z digitálních a analogových vstupních karet cyklické zpracovávání řídicího algoritmu. Je možné, aby tento programový blok obsahoval celé softwarové řešení technologického řízení procesu, z důvodu lepší přehlednosti je ovšem v projektu aplikována metoda volání dílčích podprogramů. Celý OB1 tak obsahuje pouze funkční blok FB1 pro práci s naměřenými hodnotami teplot nasávaného

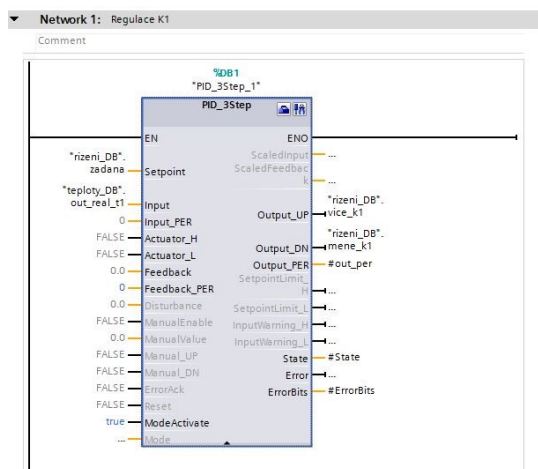
vzduchu a funkční bloky FB2 a FB3 pro ovládání směšovacích klapek, resp. nasávacích žaluzií. Náhled viz Obr. 4.11.



Obr. 4.11. – Náhled OB1

4.2.3 Řízení s využitím cyklického přerušení

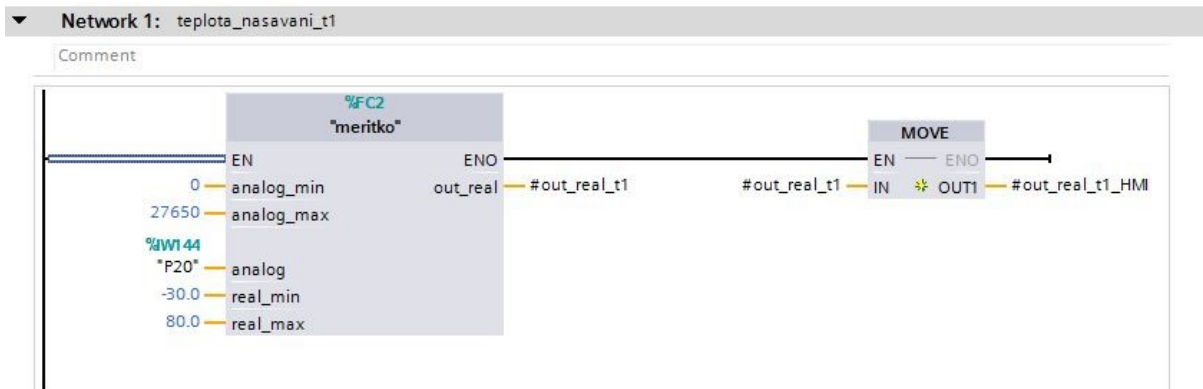
Jedná se o velmi důležitou část algoritmu, která obsahuje softwarové PID regulátory (obr.4.12) a v pravidelných intervalech přerušení je obsluhuje. Tyto regulátory na základě naměřené skutečné hodnoty teploty provádějí porovnáním s její žádanou hodnotou výpočet regulační odchylky a na základě její velikosti řídí prostřednictvím relé, resp. servopohonu příslušný akční zásah. Nutností nedílně spojenou se správnou funkcí PID regulátoru je parametrizace jeho proporcionální, integrační a derivační složky. Tato nastavení popisuje níže uvedená kapitola „Konfigurace technologických objektů.“



Obr.4.12 – PID regulátor v OB30

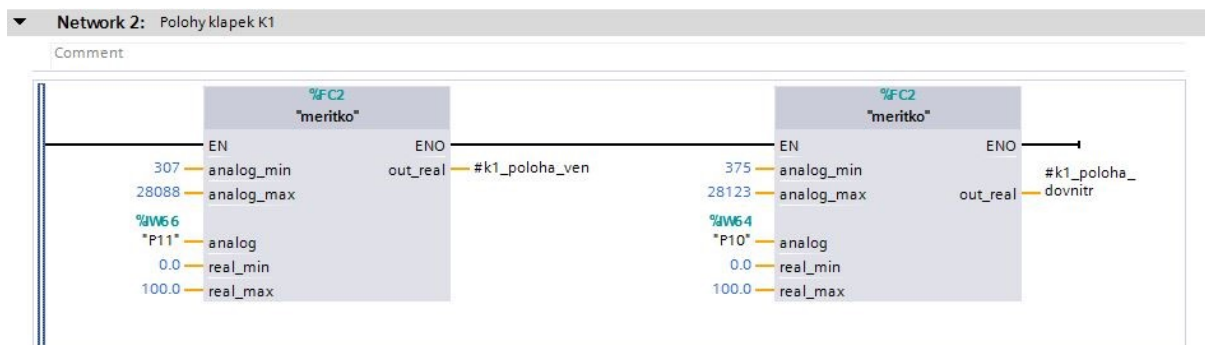
4.2.4 Funkční bloky (FB)

- FB1.** Tento funkční blok (obr.4.13) se nazývá „teploty“ a obsahuje funkce, které zpracovávají informace o teplotě vzduchu v prostoru sání kompresorů. Převádí data ze vstupních analogových karet na reálné číslo, odpovídající skutečné hodnotě teploty v jednotkách °C (viz #out_real_t1), s kterou následně pracují PID regulátory, jakožto regulovanou veličinou. V tomto funkčním bloku je rovněž pomocí funkce Move tato hodnota přesouvána dále k vizualizaci (viz #out_real_t1_HMI).

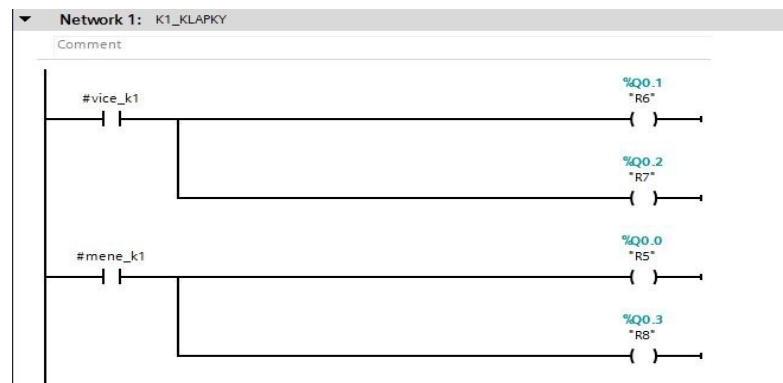


Obr.4.13-Část funkčního bloku FB1

- FB2.** Tento funkční blok se nazývá „řízení“ a je složen ze dvou částí. Obsahuje funkce, které jsou pojmenovány jako „měřítka“ a zajišťují převod hodnoty polohy regulačních klapek na reálné číslo v požadovaném rozsahu 0-100% (obr.4.14). Druhou částí je podprogram, který obsluhuje jednotlivé bity výstupních digitálních karet, které poté spínají příslušná relé a silovým napětím ovládají pohyb servopohonů v žádaném směru (viz obr.4.15).



Obr.4.14 – FB2 – použití funkce měřítek



Obr.4.15 – FB2 – ovládání regulačních servopohonů

4.2.5 Funkce (FC)

V algoritmu je vytvořena univerzální matematická funkce FC2 „měřítko“ (viz obr.4.16), která nejdříve provede instrukcí NORM_X převod získané hodnoty z analogového vstupu dané karty z datového formátu INT na datový typ REAL, uloží ji do pomocné proměnné a následně ji instrukcí SCALE_X přiřadí skutečnou výstupní hodnotu #out_real. Obě operace pracují s rozsahem MIN-MAX, který definuje velikost žádaného výstupního numerického intervalu.



Obr.4.16 – Princip funkce FC2 – měřítko

4.2.6 Datové bloky (DB)

V řídicím algoritmu jsou pro přehlednost vytvořeny a použity samostatné datové bloky DB1-DB5, které slouží příslušnému funkčnímu bloku, resp. PID regulátoru. To znamená, že např. funkční blok „řízení FB2“ má přiřazen svůj datový blok „řízení DB2“, tak jak je patrné na obr.4.17.

řízení_DB							
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint
1	▼ Input			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	■ zadana	Real	15.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	■ teplota_zadana	Real	15.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	▼ Output			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	■ k1_poloha_ven	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	■ k1_poloha_dovnitř	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	■ k2_poloha_ven	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	■ k2_poloha_dovnitř	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	■ k3_poloha_ven	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	■ k3_poloha_dovnitř	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	▼ InOut			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	■ vice_k1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	■ mene_k1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	■ vice_k2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	■ mene_k2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	■ vice_k3	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	■ mene_k3	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obr.4.17 – Datový blok DB2

4.2.7 Konfigurace technologických objektů

- Parametrizace PID regulátorů.** Přestože se nejedná o fyzické PID regulátory realizované elektronickými součástkami, ale o software na bázi matematického aparátu, funkční princip je totožný. Na vstup regulátoru je přivedena žádaná hodnota regulované veličiny a zpětná vazba, z jeho výstupu je již regulační odchylkou řízen chod směšovacích klapek. V projektu je aplikována technologická funkce PID_3step, přímo určená pro řízení ventilů, pracující s třístavovou regulací pomocí binárních výstupů. Na zkoušku a spíše ze zvědavosti byla testována i funkce PID_Compact, ta se ale příliš neosvědčila (viz kapitola Závěr). Jak již bylo výše uvedeno, pro správnou funkci PID regulace je nezbytné nastavení jeho zesílení, neboli zpětné vazby a také jeho integrační a derivační konstanty. Velmi zjednodušeně lze proporcionální složku označit jako zesilovač, integrační jako míru kmitavosti systému a derivační jako konstantu ovlivňující rychlost regulace. Protože se všechny složky vzájemně ovlivňují, jejich optimální nastavení bez detailní znalosti regulovaného procesu je velmi problematické. Popis výzkumu a testování je detailně popsán v kapitole Závěr, stávající nastavení na obr.4.18 odpovídá stavu automatického naladění regulátoru ve zkušebním provozu, které tento regulátor v prostředí TIA podporuje.

PID Parameters

☒ Enable manual entry

Proportional gain: 0.53

Integral action time: 60.22 s

Derivative action time: 0.12 s

Derivative delay coefficient: 0.21

Proportional action weighting: 0.97

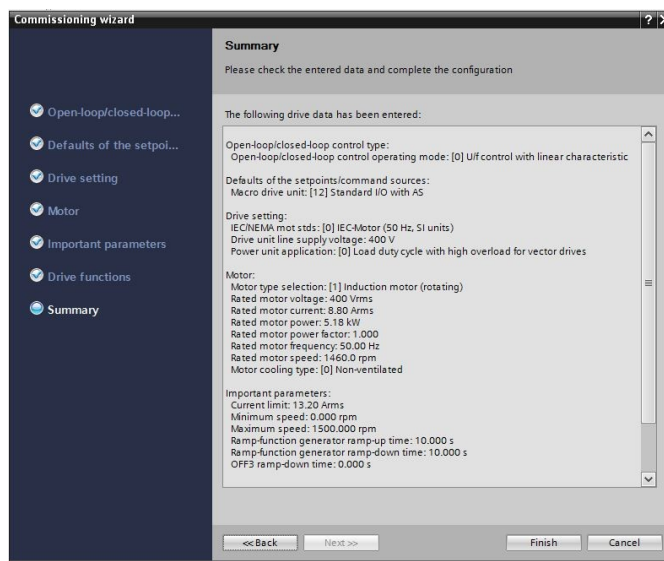
Derivative action weighting: 0.96

Sampling time of PID algorithm: 5.31 s

Deadband width: 0.0 °C

Obr.4.18 – Nastavení PID složek regulátoru

- **Parametrizace motoru.** Dalším krokem při realizaci projektu je spárování frekvenčního měniče Sinamics G120C s řízeným asynchronním elektromotorem nouzového ventilátoru TCBT/4-800 K PTC. Detailní nastavení je patrné z dokumentace, která je součástí přílohy, tato kapitola uvádí nastavení základních parametrů pomocí konfiguračního průvodce Wizard (obr.4.19), jehož prostřednictvím se do programu vloží štítkové hodnoty motoru – jeho otáčky, jmenovité napětí, proud, výkon a kmitočet. Nutná je rovněž konfigurace funkcí příslušných vstupů/výstupů frekvenčního měniče tak, aby odpovídaly zapojení dle projektové dokumentace.



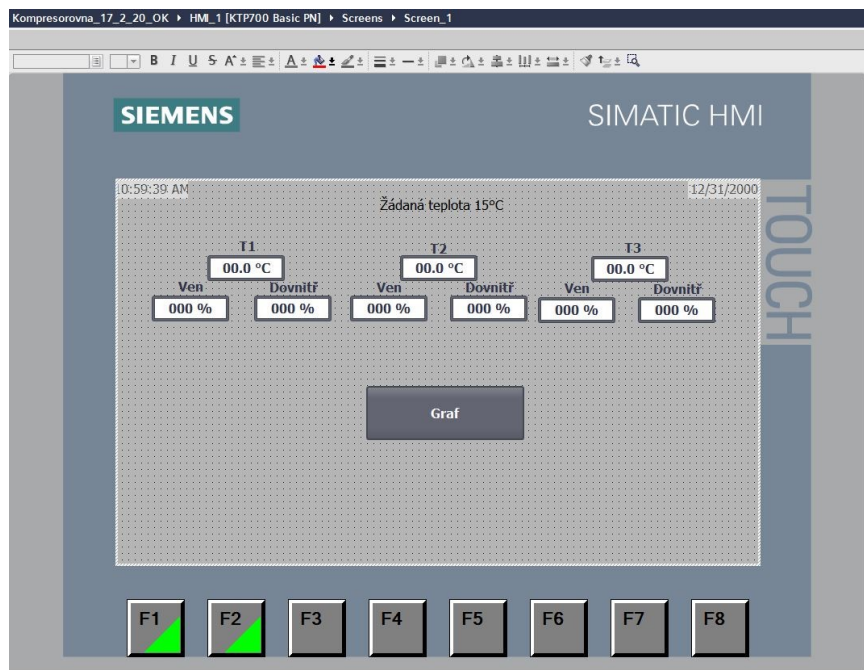
Obr.4.19 – Parametrizace motoru

4.2.8 Vizualizace (HMI)

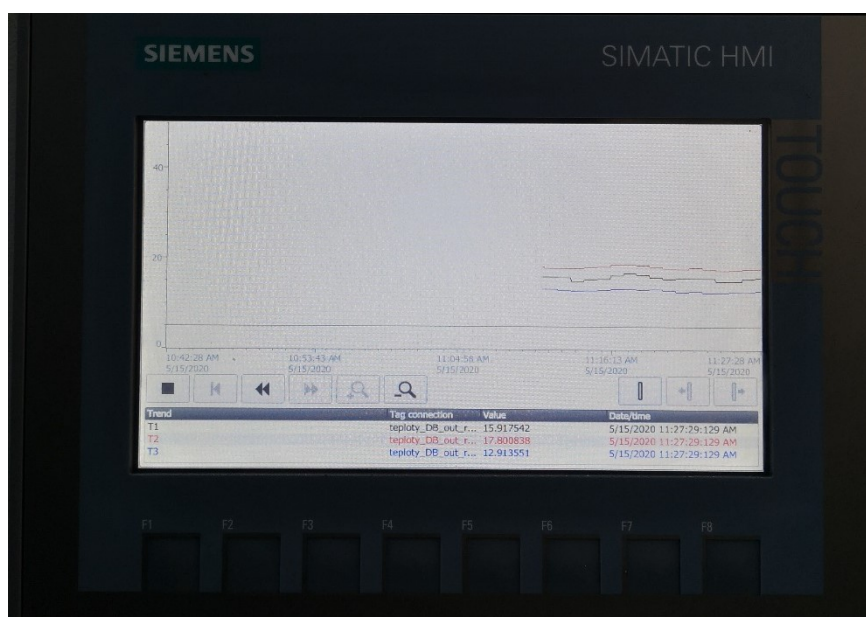
Posledním krokem při sestavování algoritmu v jednotném inženýrském prostředí TIA Portal je realizace zobrazení požadovaných dat na panelu SIMATIC HMI BASIC. Na základě požadavku zákazníka jsou jednoduchým a přehledným způsobem na dvou obrazovkách vizualizovány polohy příslušných směšovacích žaluzií spolu s teplotami vzduchu v prostoru sání jednotlivých strojů a grafy vývoje těchto teplot v čase. Z náhledu níže uvedených obrázků je patrné, že data adresována k vizualizaci do HMI jsou opět otagována (tab.4.20) a způsob, jakým jsou vizualizována v příslušných ikonách (obr.4.21) a grafech (obr.4.22).

Tab.4.20 – Tagy vizualizovaných hodnot HMI

Název tagu	Komentář
Rizeni DB k1 poloha dovnitr	Vizualizace polohy směšovací klapky VK1.1
Rizeni DB k1 poloha ven	Vizualizace polohy směšovací klapky VK1.2
Rizeni DB k2 poloha dovnitr	Vizualizace polohy směšovací klapky VK2.1
Rizeni DB k2 poloha ven	Vizualizace polohy směšovací klapky VK2.2
Rizeni DB k3 poloha dovnitr	Vizualizace polohy směšovací klapky VK3.1
Rizeni DB k3 poloha ven	Vizualizace polohy směšovací klapky VK3.2
Teploty DB out real t1	Vizualizace teploty sání kompresor 1
Teploty DB out real t1 HMI	Vizualizace teploty sání kompresor 1 - graf
Teploty DB out real t2	Vizualizace teploty sání kompresor 2
Teploty DB out real t2 HMI	Vizualizace teploty sání kompresor 2 - graf
Teploty DB out real t3	Vizualizace teploty sání kompresor 3
Teploty DB out real t3 HMI	Vizualizace teploty sání kompresor 3 - graf



Obr.4.21 – Náhled obrazovky vizualizace dat



Obr.4.22 – Náhled obrazovky vizualizace grafů

5 Závěr

Práce na kompletní realizaci projektu trvaly 6 měsíců. Byly započaty v listopadu loňského roku, kdy jsem zpracoval v prostředí SchémataCAD firmy ELMER software s r.o. projektovou dokumentaci. Průběžně probíhala jednání a konzultace s odběratelem z důvodu změn či upřesnění dílčích zadání. Zároveň byla prováděna odborná fyzická montáž kompresorů jejich dodavatelem, firmou Atlas Copco. Na přelomu roku jsem provedl hardwarovou montáž všech MaR komponent, rozvaděče včetně jeho výzbroje, kabelových tras, natažení kabelů a veškeré elektrické zapojení. V únoru jsem potom zařízení kompletně oživil a zprovoznil. Do tohoto okamžiku se jednalo o vcelku rutinní činnost, v níž mám 25 letou praxi.

Následující fáze projektu ovšem již měla zúročit znalosti nabyté studiem na FEI VŠB-TUO, zejména předmětu „Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů“, protože osvojení si programování PLC je mou primární studijní motivací a jediným důvodem, proč jsem zvolil za téma bakalářské práce právě řešení této problematiky. V březnu 2020 jsem navrhl a v prostředí TIA Portal sestavil řídicí algoritmus a započal jej již v rámci zkušebního provozu testovat. Práce se záhy velmi zkomplikovala změnou situace ve společnosti, přesto jsem ve značně dobrodružném režimu nadále prováděl zkoušky a ladění celého systému. Provedl jsem softwarové nastavení převodníků Mercos, mechanické seřízení směšovacích klapek a dlouhodobě chování celé soustavy spolu se zákazníkem pozoroval. Jedinou komplikací a problémem ve zkušebním provozu byla závada mechanického charakteru na jednom z kompresorů, která ovšem nesouvisela se systémem teplotní regulace a stala se předmětem záruční opravy ze strany výrobce Atlas Copco.

V této době se rovněž dostavilo mrazivé období a přestože se noční venkovní teploty pohybovaly okolo hodnot -15°C , navržený systém se osvědčil a nikdy nedošlo k odstavení kompresorů interní teplotní ochranou a k zastavení výrobního procesu, což by znamenalo nemalou komplikaci. Pomocí kalibrátorů jsem také nasimuloval stav tropických letních teplot, abych ověřil funkci nouzového větrání při všech směšovacích klapkách otevřených na 100% směrem ven. I tato simulace proběhla dle mých představ a bez problémů. Reálný praktický test proběhne zřejmě až v červenci, ale ani zde neočekávám výskyt žádných potíží.

Počátkem dubna jsem celý projekt zdokumentoval formou této bakalářské práce a protože v této době již kompresorovna pracuje bez dozoru a komplikací v plně automatickém režimu, mohu konstatovat, že byl úspěšný. Na období letní prázdninové odstavky již mám se zákazníkem předběžně dojednány úpravy týkající se vzdáleného přístupu k systému z velínu a možnosti ručních zásahů do kaskádního řízení jednotlivých kompresorů, což je nyní záležitostí vnitřního software Atlas Copco. Tuto skutečnost vnímám z hlediska svého dalšího praktického vzdělávání a navazujícího studia na FEI velmi pozitivně.

Literatura

- [1] *One Industry* [online]. 2019, 11.7.2019 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.one/lexikon/pneumatika-obor/>
- [2] *History Of Computers* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://history-computer.com/Dreamers/Ctesibius.html>
- [3] *Automatizace a robotizace: Učební text pro žáky 3. ročníku oboru 23-41-M/001 Strojírenství* [online]. [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz!/podklady/ARO_prorok/Pneumatick%C3%A9%20%C5%99%C3%ADzen%C3%AD.pdf
- [4] *KOLEKTIV AUTORŮ. SMC training: Využití stlačeného vzduchu [CD]. Brno* [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz>
- [5] *Trend integrace elektroniky do pneumatických prvků*. [online]. 2011, roč. 2011, č. 11 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trend-integrace-elektronikydo-pneumatickych-prvku.html>
- [6] VLČEK, Jiří. *Moderní elektronika*. Brno: BEN, Technická literatura, 2003. ISBN 8594011421555.
- [7] *AUTOMA: Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2000, **2000**(10) [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/vyroba-a-rozvod-stlaceneho-vzduchu-pro-pneumatickou-regulaci-2000_10_27922_1793/
- [8] VLACH, Jaroslav. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-860-5666-X.
- [9] KOZIOREK, Jiří, Antonín KUČERA, Jiří HAŠKA a Jan ŠMÍD. *Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů: učební text a návody do cvičení*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012.
- [10] *Siemens* [online]. 2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/industrial/plc.html>
- [11] *ELEKTROPRŮMYSL: Řídicí systém Simatic S7-1500 je zaměřen na výkonnost a efektivitu* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/ridici-system-simatic-s7-1500-je-zameren-na-vykonnost-a-efektivitu>
- [12] *COMET SYSTEM, s.r.o.: Tradiční výrobce měřicí techniky* [online]. Rožnov pod Radhoštěm, 2020 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.cometsystem.cz/>
- [13] *BELIMO CZ spol. s r.o.: Servopohony* [online]. 2020 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.belimo.cz/>
- [14] *Soler&Palau: Ventilation Group* [online]. Darmstadt, 2020 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.soler-palau.de/index.html>
- [15] *SIEMENS: Měniče SINAMICS* [online]. 2020 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/drives/sinamics.html>
- [16] *MERCOS: Měřicí a regulační přístroje* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <http://www.mercos.cz/>
- [17] *B&R: Industrial automation* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/>

Přílohy

- I Elektrické schéma projektu
- II Program